

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2018～2020

課題番号：18KK0106

研究課題名（和文）冷炎における壁面効果の解明と制御

研究課題名（英文）Elucidation and Control of Wall Effects on Cool Flame

研究代表者

鈴木 雄二（Suzuki, Yuji）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：80222066

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、低温酸化反応の世界的な権威であるプリンストン大学Ju教授らと共同で、冷炎の着火過程における壁面の化学的効果の評価、ラジカル線散乱によるラジカル吸着反応の評価、壁面近接火炎を用いたラジカル表面再結合反応の評価、などについて検討を進めた。その結果、冷炎では熱炎よりも壁面の化学的効果の影響が著しいこと、材料ごとの壁面の化学的効果によって、着火・消炎温度は上昇することも下降することもあること、熱炎ではラジカルごとに異なる壁面吸着係数を考慮すれば、ラジカル破壊モデルによって説明できるのに対し、冷炎ではラジカルの表面の脱離、安定化学種の吸着・分解が重要と考えられることを初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

冷炎は、例えばHCCIエンジンの着火過程を考える上で極めて重要であり、本研究を通じて得られた、低温酸化反応、冷炎の着火と消炎、冷炎に対する壁面の化学的効果について得られた知識は、新規性が高く、燃焼工学分野に新しい展開を加えることができたと考えている。

また、本研究を通じて構築した、高変換効率の2光子吸収レーザー誘起蛍光法、分子線散乱によるラジカル吸着反応の計測手法などの研究手法についても、今後関連分野での展開が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, in collaboration with Professor Ju of Princeton University, who is a world authority on low-temperature oxidation reaction, evaluation of the wall chemical effect in the ignition process of cold flame, evaluation of radical adsorption reaction by radical beam scattering, the radical surface recombination reaction in wall-attached flame were investigated. As a result, the influence of the wall chemical effect is more significant in the cold flame than in the hot flame, and the ignition / extinction temperature may rise or fall depending on the wall chemical effect for each material. The wall chemical effects in hot flame can be explained by the radical decay model by considering the wall sticking coefficient that differs for each radical. On the other hand, for the cool flame, for the first time, it was clarified that desorption of the surface of radicals and adsorption / decomposition of stable chemical species should play a dominant role.

研究分野：熱工学

キーワード：燃焼 壁面効果 表面反応 冷炎 熱炎 レーザー誘起蛍光法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 内燃機関の高度化に伴う低温酸化反応への注目

近年、内燃機関のさらなる高効率化とともに、排ガス中の環境負荷物質の低減が要求されている。しかし、部分負荷状態において、火花点火エンジンや圧縮着火エンジンなどの内燃機関の燃焼過程は、すすや窒素酸化物の多量発生を伴う領域で進行してしまうことが多い。そこで、希薄・低温のマイルドな条件で動作する HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) エンジンが注目されている。HCCI エンジンの着火過程では、本着火よりクランク角で数十度前に、微量の熱発生を伴う冷炎が形成され、冷炎の出現が本着火のタイミングに大きな影響を与えることが知られている。しかし、熱炎に比べ冷炎を支配する低温酸化反応に関する情報が不足しており、着火の精密な制御に必要な数値解析結果についても不確かさが大きい状態となっている。

従来の低温酸化反応に関する研究は、フローリアクタや Jet-Stirred Reactor における濃度計測と、衝撃波管や急速圧縮装置を用いた着火遅れ時間の計測によるものがほとんどであった。しかし、これらの系では、低温酸化反応とそれによる熱発生の影響が化学種の輸送現象から分離され、冷炎本質の把握には限界があるのが実状である。近年、対流の影響が抑えられる微重力環境や、流れ方向に温度勾配を印加したマイクロフローリアクタにおける Weak flame, あるいはプラズマを用いた低温酸化反応の促進などを利用した冷炎の研究が試みられているが、定常な冷炎において定量計測を行った研究例は限られている。そこで、低温酸化反応機構を検証するための方法も確立されておらず、冷炎の計測データが数値解析による予測値と一致しないことも多く、低温酸化反応モデルについてさらなる検討が必要である。

(2) 冷炎における壁面の化学的干渉効果

火炎が壁面と近接すると、火炎から固体壁に熱が奪われ火炎温度が低下して消炎に至る熱的效果と、火炎中のラジカルなどの中間化学種が壁面で反応を起こすことにより火炎構造が変化し、化学的効果が発生する。平行平板間に形成したメタン火炎において OH-LIF/H-TALIF により火炎中の OH ラジカル/H 原子分布を計測した先行研究において、OH の計測結果とラジカル再結合モデルを用いた数値解析の比較から初期吸着係数を求め、ステンレス、石英、 Al_2O_3 表面においてそれぞれ 0.1, 0.01, 0.001 程度の値を示すことを初めて明らかにした。

また、ごく最近、流れ方向に温度勾配を印加した矩形断面マイクロ流路において形成される Weak flame に対して化学種の定量計測を行い、ステンレス表面では石英表面に比べ、冷炎中の HCHO と CO の濃度が低下し、冷炎下流側の NTC (Negative Temperature Coefficient) 領域において燃料として用いた DME の濃度が逆に増加することを示し、冷炎においても壁面による顕著な化学的干渉効果が現れることを明らかにした。国際共同研究先のプリンストン大学 Ju 教授らと共同で、新たな定常冷炎の形態として壁面で安定化される冷炎を提案し、Ni 表面では SiO_2 表面に比べ、HCHO と CO 濃度が現象し、火炎温度が低下することを明らかにした。しかし、どちらの場合も、熱炎に有効なラジカル再結合モデルのみでは現象の再現ができず、新たな表面反応機構の構築が必要であることが判った。

2. 研究の目的

本研究では、壁面の化学的効果が火炎に与える影響を解明することを目的とする。特に、より高効率の燃焼を実現するための課題とされている冷炎における壁面効果の影響に注目し、低温酸化反応に適用可能な表面反応モデルを構築するとともに、壁面材質の選択により低温酸化反応を促進・抑制することで、冷炎の着火過程の制御を可能とする。さらに、内燃機関のような実際の燃焼場に適用するためのより実用的なデータの取得を目指し、高圧環境下における壁面効果の影響に関して調べる。上記に加え、ラジカルや単原子を含めた火炎中の各種中間生成物の分布のさらなる高時空間分解能計測を実現し、壁面ごく近傍における化学種の空間分布および時間変化の把握を可能とする。また、より高精度のラジカルクエンチングモデルの構築に向け、ラジカル吸着反応およびラジカル表面再結合反応の直接評価を行う。

さらに、低温酸化反応モデルを含めた燃焼分野研究の世界的な権威者であるプリンストン大学 Ju 教授らと共同で、双方の実験系を用いた計測データを持ち寄って低温酸化反応モデルについて検討を行うとともに、冷炎に対する壁面の化学的効果について新たなモデルを構築し、壁面の化学種により冷炎の制御を試みることを目的とする。このような試みは、これまで多くの研究が行われてきた燃焼分野の中でも極めて独自性が高いと考えられる。これにより、低温酸化反応モデル、冷炎に対する壁面の化学的効果について、新たな展開が得られるものと考えられる。

3. 研究の方法

(1) 冷炎の着火過程における壁面の化学的効果の評価

図 1 に、たノズルバーナおよび加熱壁の写真を示す。バーナは、内径 10 mm と 20 mm の同軸ノズルからなり、内側ノズルから整流化した燃料・酸化剤の混合気主流を、外側ノズルからは外気から主流を保護するための窒素二次流れを噴射する。直径 120 mm の黄銅製加熱壁は、2 つワイヤヒータにより加熱した。一定な速度で昇温される加熱壁に、燃料と酸化剤の混合気をさ

せることにより、壁面ごく近傍で冷炎を着火させた。

図1bに示すように、中心部から外径70 mm、厚さ3 mmの円板が脱着できるように設計した。黄銅円板の表面に厚さ200 nm程度の調査対象材料の薄膜を形成することにより、熱的境界条件を維持したまま化学的境界条件のみの変更を可能とした。比較的不活性な材料としてSiO₂を、活性な材料にはFe、Pt等の金属を試した。それぞれの表面における冷炎の着火特性を、HCHO-PLIF (Planar Laser-Induced Fluorescence) により計測することで、冷炎に対する壁面の化学的效果を調べた。

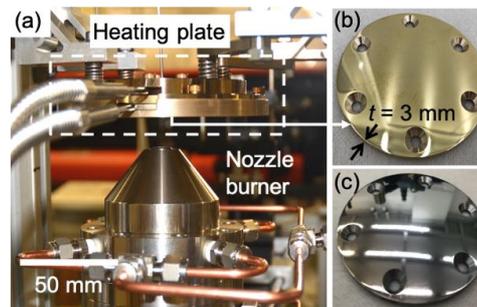


図1 (a) ノズルバーナと加熱壁の写真、(b) 黄銅製加熱壁、(c) Pt 成膜後。

(2) TDLAS を用いた高圧環境における冷炎着火の計測

高圧環境下でLIF計測を実施した場合、蛍光の失活によりキャリブレーションが困難となるため、本研究では、HCHO濃度計測に波長可変半導体レーザー吸収分光法 (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy, TDLAS) を導入した。5.5~6 μm付近の中赤外線領域におけるHCHO分子の吸収に着目し、H₂OやHCOOHによる吸収を回避した中心波長1728.67 cm⁻¹の吸収線を選定した。量子カスケードレーザー (Quantum Cascade Laser: QCL) を用いて、1728.4 cm⁻¹から1728.9 cm⁻¹までの波数を1 kHzのスピードで掃引させた。燃焼場への導入前後のレーザー強度比から吸収率を出し、Lambert-Beerの法則に基づいてVoigt関数と3次多項式のベースカーブとの和により測定値をフィッティングすることで、濃度を算出した。

光軸に対して一定な濃度場の形成するため、図2に示すような二次元ノズルバーナを新たに設計した。燃料と空気の混合気は、流体導入部、整流部、収縮部を経て、40 mm × 2 mmのスリット断面を持つ出口から噴射され、両側の窒素二次流れおよび、CaF₂側壁に囲まれた状態で、ノズル出口から約5 mm上部に設置された加熱壁に衝突する。加熱壁はワイヤヒータにより加熱され、壁温は中心に埋め込まれた熱電対により計測した。また、加熱壁表面にはSiO₂薄膜を形成し、壁面の化学的效果を抑えた。バーナと加熱壁は、内径160 mm、高さ300 mmの高圧チャンバ内に設置し、TDLAS計測を行うために、図2に示すような光学系を構築した。



図2 (左) 二次元冷炎を形成するためのノズルバーナ、(右) 高圧環境におけるTDLAS計測のための光学系の全景。

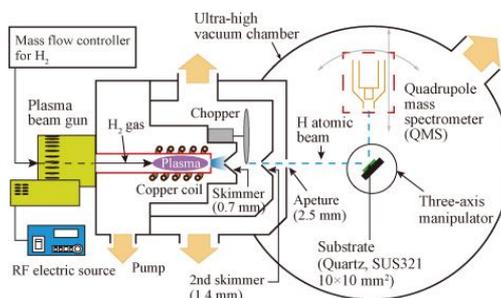


図3 非平衡プラズマを用いた分子線散乱計測装置の模式図。

(3) 水素火炎における壁面の化学的效果の評価

火炎における壁面の化学的效果は、表面反応によるOHラジカルとH、O原子等の破壊、すなわちラジカルクエンチング反応に起因することが知られている。H、O原子の分布計測には、2光子吸収レーザー誘起蛍光法 (Two-photon absorption LIF: TALIF) を用いた。H-TALIFは、Nd:YAGレーザーの第二高調波 (532 nm) をSulforhodamine 640の色素レーザーにより波長615 nmのレーザーを発生させ、第二高調波 (波長307.5 nm) とミキシングして和調和 (SFG) を発生後、プリズムによる分光により205 nmのレーザー光を取り出して行った。O-TALIFは、LDS698とDCMを混合した色素を用いて波長675 nmのレーザーを発生させ、同様な方法により226 nmの励起光を作って行った。H、O原子からの蛍光強度を、それぞれ中心波長を656.5 nm、844 nmとするバンドパスフィルタを通してICCDカメラで計測した。また、それぞれの計測におけるレーザー強度の空間分布を、Kr-TALIFとXe-TALIFにより補正した。

1.5 mm × 5 mmの矩形断面を有する石英製マイクロフローリアクタを赤外線ヒータにより加熱することで、流れ方向の温度分布を形成し、水素・空気・窒素の混合気を一定な流速で流すことによりチャンネル内に定常な水素火炎を形成した。さらに、リアクタの内壁にアークプラズマガンを用いて100 nm厚のインコネル膜を形成し、インコネル表面における火炎の分布を石英表面の場合と比較した。上述したH/O-TALIFに加え、OH-PLIF計測を行い、水素火炎中のO、H原子およびOHラジカルの分布を調べ、インコネル表面に対する壁面の化学的效果の評価を行った。

(4) ラジカル線散乱によるラジカル吸着反応の評価

非平衡プラズマを用いた分子線散乱計測により、ラジカルの初期吸着係数を直接的に評価し

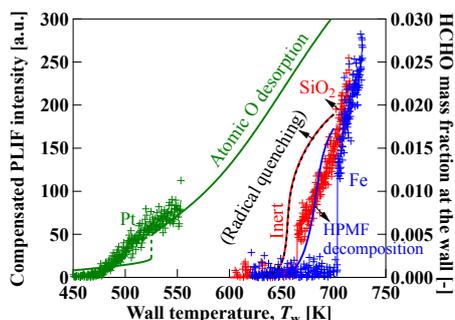


図4 Pt, SiO₂, Fe表面における冷炎の着火特性および数値解析結果の比較.

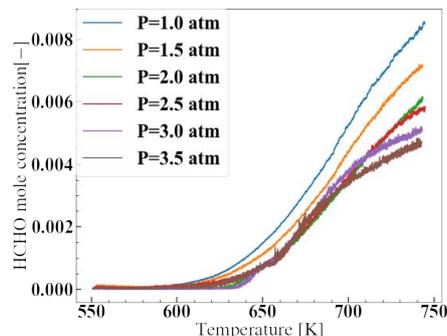


図5 圧力上昇に伴った冷炎着火特性の変化.

た. 図3に, プラズマ分子線散乱計測装置の模式図を示す. 主室は, 10^{-9} Torr 程度の超高真空状態に保たれ, 分子線は, 主室に接続された3段の差動排気ラインで形成する. ラジカルの生成には, 第1段目差動排気室に設置したRF電源およびPBN放電管から構成される非平衡プラズマ源を用いた. まず, 最も単純かつ重要なHラジカルの吸着挙動を定量することを目的とした. 高純度のH₂ガスを250Wで駆動されるPBN放電室に供給し, プラズマ分解することでHを生成した. オリフィスから噴出したHおよびH₂は, スキマーおよびアパーチャによりこし取られ, 分子線軸に沿う速度成分を持つもののみ, 主室に設置された試料壁面に照射される. HおよびH₂の飛行時間分布(TOF分布)は, 四重極質量分析器(QMS)により取得した.

4. 研究成果

(1) 冷炎の着火過程における壁面の化学的効果の評価[1-4]

DMEと酸素の混合気を, 当量比0.5, ノズル出口平均流速50cm/sの条件で噴射させ, 450Kから720Kまでの範囲で約1K/sの速度で昇温される加熱壁に衝突させた. 図4に, Pt, SiO₂, Pt表面上における冷炎の着火特性を比較した結果を示す. SiO₂表面での冷炎の着火温度は665Kであるのに対し, Fe表面とPt表面における着火温度は, それぞれ704K, 470Kと得られる. したがって, 不活性と考えられるSiO₂表面と比較し, Fe表面では冷炎の着火が抑制され, Pt表面では冷炎の着火が促進されることが明らかになった.

それぞれの表面における冷炎着火の促進および抑制効果を説明するため, 表面反応のモデリングを行った. まず, Fe表面における冷炎着火の抑制を再現するため, 表面反応によりO, H, OH, CH₃, HO₂, H₂O₂が破壊されるラジカルクエンチングモデルを仮定した. しかし, ラジカル・クエンチングモデルは冷炎の着火過程にほとんど影響を与えていないことが判る. この結果は, 熱炎に対して有効なラジカルクエンチングモデルをそのまま冷炎に適用することはできず, 冷炎を支配する低温酸化反応に対応した表面反応モデルの構築が必要であることを示唆する.

そこで, 仮想的な表面反応モデルを仮定し, その妥当性の評価を行なった. Fe表面に対しては, 低温酸化反応の進行を抑制するメカニズムとして, HPMF (Hydro-peroxyl-methyl formate, HO₂CH₂OCHO)分子が, H₂O, CO₂, HCHOの安定な化学種に分解される表面反応を仮定した. 一方, Pt表面に対しては, 冷炎着火の促進するメカニズムとして, 気相中のO₂分子が表面に吸着され, 2つのO原子に分解された後に脱離する, O原子脱離モデルを仮定した. 図4に示すように, HPMF分解モデルおよびO原子脱離モデルにより, 冷炎の着火がそれぞれ抑制, 促進される結果が得られ, FeとPt表面で計測された冷炎着火の抑制および促進は, 表面反応による低温酸化反応初期段階の中間生成物の破壊および, 活性なラジカルプールの生成により説明できる可能性を示した.

一方, アルカン燃料により形成される冷炎に対しても同様な評価を行い, SiO₂表面に比べFe表面において冷炎の着火温度が減少するが, 炭素数8~10の燃料に関しては, Fe表面における冷炎の着火温度がより高いことが判り, アルカン燃料の冷炎に対しても壁面の化学的効果が顕著に現れることが明らかになった.

(2) TDLASを用いた高圧環境における冷炎着火の計測[5]

当量比1のDME・空気の前混合気を, 大気圧でのノズル出口平均流速が20cm/sとなるように調整し, 質量流量一定の条件で流した. また, 壁温は550~750Kの範囲で0.3K/sの速度で上昇させた. 図5に, チャンバ内の圧力を大気圧から3.5atm(絶対圧)まで0.5atmごとに変化させながら, 冷炎の着火特性を計測した結果を示す. 圧力上昇に伴い冷炎中のHCHO濃度は減少するが, 2.5atm以上の圧力条件下ではあまり変化しない. 690Kまでの濃度変化を2つの直線によりフィッティングし, その交点を着火温度と定義すると, 大気圧条件では着火温度は620Kとなる. また, 圧力の上昇に伴い着火温度が増加し, 3.5atmの条件下において635Kとなることが示される. 一方, 数値解析結果(図省略)では, 圧力の上昇に伴い着火温度が低下しており, 逆の傾向となることが明らかになった.

(3) 水素火炎における壁面の化学的効果の評価[6,7]

図6に、石英とインコネルがコーティングされたリアクタ内に、空気と同量の窒素で希釈された当量比1、平均入口流速533 cm/sの水素・空気・窒素混合気を流して水素火炎を形成し、チャンネル内のOH, O, Hの空間分布を調べた結果を示す。インコネル表面における3つの化学種のピークが、石英表面に比べ下流側に約2 mm程度シフトし、濃度も減少することが判る。また、壁面垂直方向の分布に関しても、インコネル壁面近傍で化学種の濃度が減少しており、インコネル表面で顕著な表面吸着が起きていることが示された。

後述するプラズマ分子線散乱によるインコネル表面に対するHの初期吸着係数の直接計測結果および、表面におけるラジカルクエンチング反応を考慮して行った数値解析結果を基に、インコネル表面におけるOH, O, Hの初期吸着係数がそれぞれ0.05, 0.2, 0.45と見積もられ、吸着種によって吸着係数が異なることに加え、H原子の吸着が最も起こりやすいことを明らかにした。

(4) ラジカル線散乱によるラジカル吸着反応の評価[8]

図7に、散乱信号から算出した $T_w=30\sim 800$ °Cにおけるステンレス壁面でのHの初期吸着係数 S_0 を示す。初期吸着係数は、微弱ながら温度依存性を持ち、 $T_w=30, 200, 400, 600$ および 800 °Cにおいて、それぞれ $S_0=0.49, 0.52, 0.53, 0.52$ および 0.49 である。これらは、燃焼実験で得られたステンレス壁面における S_0 の値の範囲内(0.1~1)であり、本計測を通じてより正確な値が得られたと言える。また、散乱信号の解析から、 $T_w=400$ °Cにおいて S_0 が最も高くなるのは、物理吸着したHに起因することを明らかにしている。すなわち、 $T_w<400$ °Cでは、 T_w の上昇により活性化障壁を超えることで、物理吸着から化学吸着への経路が促進されるが、 $T_w>400$ °Cではそれを上回って、物理吸着したHの脱離が進むためと考えられる。

5. まとめ

本研究では、低温酸化反応の世界的な権威であるプリンストン大学Ju教授らと共同で、冷炎の着火過程における壁面の化学的効果の評価、ラジカル線散乱によるラジカル吸着反応の評価、壁面近接火炎を用いたラジカル表面再結合反応の評価、などについて検討を進めた。その結果、冷炎では熱炎よりも壁面の化学的効果の影響が著しいこと、材料ごとの壁面の化学的効果によって、着火・消炎温度は上昇することも下降することもあること、熱炎ではラジカルごとに異なる壁面吸着係数を考慮すれば、ラジカル破壊モデルによって説明できるのに対し、冷炎ではラジカルの表面の脱離、安定化学種の吸着・分解が重要と考えられることを初めて明らかにした。

なお、初年次こそプリンストン大学を訪問して研究の方向性などについて突っ込んだ議論を行うことができたが、翌年春に予定していたプリンストン大学での共同実験がコロナ感染症の世界的な拡大の影響で中止となり、また、2020年10月から2ヶ月程度Ju教授がサバティカルで東京大学に滞在予定だったが、これも中止となって、対面での共同研究がほぼ不可能となってしまった。しかし、国際共同研究を続ける環境としては難しい中においても、メールやオンラインでの意見交換を行って、Ju教授と共著で、英文ジャーナル2篇、国際会議論文3篇、受賞1件が得られたことは、今後の国際連携強化にも極めて有効だったと考えている。

<引用文献>

- [1] M. Lee, *et al.*, Proc. of PRTEC 2019, Hawaii, Dec. 13-17, (2019), PRTEC-24430.
- [2] M. Lee, *et al.*, *Combust. Flame*, vol. 231, 111476, 2021.
- [3] 李・鈴木, 日本燃焼学会誌, 63巻, 204号, 2021. (掲載予定)
- [4] 水野・李・鈴木, 第58回日本伝熱シンポジウム講演会論文集, オンライン開催, 2021年5月25日-27日, C134.
- [5] 坂本・李・鈴木, 第58回日本伝熱シンポジウム講演会論文集, オンライン開催, 2021年5月25日-27日, C222.
- [6] 范ら, 日本燃焼学会誌, 62巻, 200号, pp. 132-142, 2020.
- [7] Y. Fan, *et al.*, *Proc. Combust. Inst.*, vol. 38, no.2, pp. 2361-2370, 2021.
- [8] Y. Saiki, *et al.*, *Proc. Combust. Inst.*, vol. 37, pp. 5569-5576, 2019.

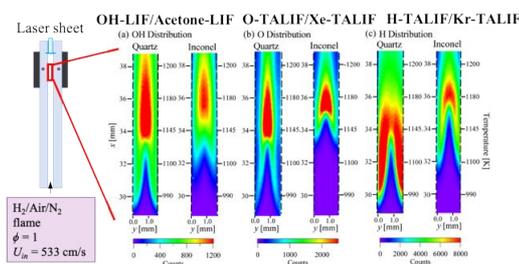


図6 石英とインコネル表面で形成された水素火炎のLIF計測結果。

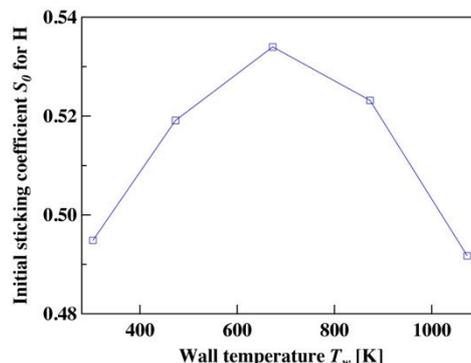


図7 ステンレス表面における30~800 °Cの壁温条件でのHの初期吸着係数。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lee Minhyeok, Fan Yong, Reuter Christopher B., Ju Yiguang, Suzuki Yuji	4. 巻 37
2. 論文標題 DME/Oxygen Wall-stabilized Premixed Cool Flame	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 1749-1756
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.proci.2018.05.059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Lee Minhyeok, Fan Yong, Ju Yiguang, Suzuki Yuji	4. 巻 231
2. 論文標題 Ignition Characteristics of Premixed Cool Flames on a Heated Wall	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Combustion and Flame	6. 最初と最後の頁 111476
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.combustflame.2021.111476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fan Yong, Guo Junqi, Lee Minhyeok, Iki Norihiko, Suzuki Yuji	4. 巻 38
2. 論文標題 Quantitative Evaluation of Wall Chemical Effect in Hydrogen Flame Using Two-Photon Absorption LIF	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 2361-2370
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 李 敏赫, 鈴木 雄二	4. 巻 63
2. 論文標題 予混合冷炎の着火および分布における壁面の化学的効果	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 范 勇, 斎木 悠, 万 遂, 李 敏赫, 鈴木 雄二	4. 巻 62
2. 論文標題 レーザー誘起蛍光法 (LIF) を用いた燃焼計測の基礎	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 132-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Lee M., Fan, Y., Ju, Y., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Study on Ignition Temperature of Wall-Stabilized Cool Flames
3. 学会等名 12nd Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC), Fukuoka (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, Y., Fan, Y., and Lee, M.,
2. 発表標題 Quantitative Measurement of Near-wall Radicals Using Microscopic Two-photon-absorption Laser Induced Fluorescence (TALIF)
3. 学会等名 15th Asian Symposium on Visualization, Busan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lee, M., Mizuno, T., Fan, Y., Ju, Y., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Wall Effect on Cool Flame Ignition Behavior
3. 学会等名 2nd Pacific Rim Thermal Engineering Conference (PRTEC 2019), Maui (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 敏赫, 范 勇, 鈴木 雄二,
2. 発表標題 壁面安定化冷炎を用いた冷炎着火温度の評価
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム, 徳島
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 敏赫, 范 勇, Y. Ju, 鈴木 雄二
2. 発表標題 DME冷炎の着火特性における壁面の化学的効果
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, 札幌
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野 智貴, 李 敏赫, 范 勇, Y. Ju, 鈴木 雄二
2. 発表標題 直鎖ヘプタン壁面安定化冷炎における壁面の化学的効果
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, 札幌
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯沼 稜斗, 丹羽 紘章, 齋木 悠
2. 発表標題 よどみ流予混合火炎における壁面の化学的効果の調査
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, 札幌 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lee Minhyeok, Fan Yong, Suzuki Yuji
2. 発表標題 Evaluation of Cool Flame Ignition Temperature on Heated Walls
3. 学会等名 11th US National Combustion Meeting, Pasadena
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 敏赫, 水野 智貴, Y. Ju, 鈴木 雄二
2. 発表標題 冷炎着火温度における壁面の化学的効果
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム, 金沢
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丹羽 紘章, 飯沼 稜斗, 杉村 明, 齋木 悠
2. 発表標題 壁面よどみ火炎を用いた壁面の化学的効果の評価手法
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム, 金沢
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野 智貴, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 直鎖アルカンの壁面安定化冷炎における着火・消炎特性の評価
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李 敏赫, 水野 智貴, 坂本 慧, 鈴木 雄二
2. 発表標題 予混合冷炎の着火過程における壁面の化学的効果
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Lee, T. Mizuno, and Y. Suzuki
2. 発表標題 Wall Chemical Effects on Ignition Characteristics of Premixed DME/Oxygen Cool Flames
3. 学会等名 38th Int. Symp. Combustion (Combustion 2020), WiPP, Adelaide (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Mizuno, M. Lee, and Y. Suzuki
2. 発表標題 Study on Ignition and Extinction Characteristics of n-Alkane Wall-stabilized Cool Flames
3. 学会等名 38th Int. Symp. Combustion (Combustion 2020), WiPP, Adelaide (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Sakamoto, M. Lee, and Y. Suzuki
2. 発表標題 Investigation of Pressure Effects on Wall-stabilized Cool Flames Using TDLAS
3. 学会等名 38th Int. Symp. Combustion (Combustion 2020), WiPP, Adelaide (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野 智貴, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 直鎖アルカン壁面安定化冷炎の着火・消炎特性に対する壁面の化学的効果
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本 慧, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 壁面安定化冷炎の着火特性における圧力依存性
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遊佐 海人, 飯沼 稜斗, 杉村 明, 齋木 悠
2. 発表標題 壁面よどみ火炎を用いた水素ラジカル表面再結合反応の評価
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

レーザー計測を用いたMEMS技術の融合による火炎と壁面の干渉機構の解明
<http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp/ja/research/comb.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	范 勇 (Fan Yong) (40748662)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	齋木 悠 (Saiki Yu) (60550499)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13903)	
研究分担者	李 敏赫 (Lee Minhyeok) (80828426)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教 (12601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ジュ イグアン (Ju Yiguang)	プリンストン大学・工学系研究科・教授	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ドイツ	カールスルーエ工科大学		
米国	プリンストン大学	テキサスA & M大学	